

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：剉冰的奧妙

一、摘要：

我們發現吃剉冰的時候只要放一段時間剉冰都會結成一塊冰塊，這現象讓我們覺得很好奇，因此研究這些鬆散的剉冰在沒有施加外力的情況下結塊的情形，是否和剉冰放置的時間、溫度或是添加糖水有關。研究發現，剉冰在 3.0 分鐘後會開始有結成冰塊的現象，結成的冰塊重量隨著時間經過會逐漸減少，改變環境溫度對於剉冰一開始結成冰塊的比例無顯著差異，之後高溫會使冰塊的熔化速度較快、能結成的冰塊重量較小，而添加糖水後的剉冰，會加速冰塊熔化，濃度較高的糖水使冰塊熔化較快、結成的冰較小。因此，未來出去外帶剉冰時，可以要求老闆把冰和糖水分開放，這樣到家的時候就不會吃到結成一大塊的冰或是直接變成水喔！。

二、探究題目與動機

炎炎夏日，來碗剉冰是愉快享受，我們在吃剉冰的時候發現，在店內用的話，老闆一剉好冰就送上來，剉冰一開始很蓬鬆，用湯匙可以輕易地舀起冰和配料，但一小段時間後，還沒吃到的冰會結成一塊，需要用點力才能把冰挖開，而外帶回家吃的話，老闆會把剉冰另外用袋子裝，回到家後，袋子裡的冰會變成一大塊硬硬的，要敲很大力才能讓冰塊散開。我們還發現如果老闆在冰上淋上糖水的話，冰會熔化得很快。

當剉冰的小碎冰變成一塊硬硬的大冰塊，彷彿是冰塊先熔化後再重新結冰一次。這樣的現象讓我們感到非常好奇，於是我們想研究這些鬆散的剉冰在沒有施加外力的情況下結塊的情形，是否和剉冰放置的時間、溫度或是添加物有關？

三、探究目的與假設

(一) 探討剉冰結塊的質量與放置時間的關係。

假設：剉冰須放置一段時間才能結成冰塊，放置的時間愈久、結成的冰塊會因熔化變小。

(二) 探討溫度對剉冰結塊的質量有何影響。

假設：溫度愈低，剉冰熔化愈慢，結成的冰塊會比較大。

(三) 探討加入糖水的濃度對剉冰結塊的質量有何影響。

假設：加入糖水的濃度愈高，由於糖水愈黏稠，會使剉冰結成愈大塊的冰塊。

四、探究方法與驗證步驟

(一)實驗材料：

RO 純水、冰塊、剉冰機、塑膠杯、竹籤、棉線、電子天平、碼表、砂糖。

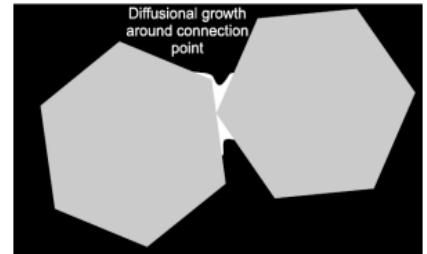
(二)資料蒐集：

根據我們想研究剉冰(小碎冰)一段時間後會變成一塊冰塊的情形，我們先上網查找相似的現象及可能形成的原因，大致有以下兩項：

1. 復冰現象^[1]：當溫度不變時，增加壓力會使得冰熔點降低變成水，而壓力一旦除去，則水又恢復成冰，稱為復冰現象。

2. 預熔(premelting)又稱表面熔化^[2]：物體在低於熔點時會在晶體表面產生薄膜，而膜的厚度跟溫度有關。這種效應可以在許多晶體中發現，也可以解釋冰的凍脹、雪花的生長，甚至是冰河的運動。冰晶聚集的方式可能包含以下幾種機制：

- (1) 晶體表面的吸附(Surface Adhesion)，和溫度有關，在略高於 0°C 時，冰晶的表面較「黏」，增加冰晶間附著的機會；
- (2) 熔結(Sintering)，當兩冰晶接觸時，水蒸氣在此接觸點周圍聚集並凝華，使冰晶固結(圖一)；
- (3) 勾連(interlocking)，樹枝狀冰晶體的分支相較於光滑的表面更容易扣合在一起；
- (4) 電場效應(electrical)：高電場使晶體間有足夠長的時間連結，使其結晶。



圖一 熔結示意圖

我們認為剉冰在端上桌後，並沒有對它施加壓力，因此應該不能用復冰現象來解釋，這種小碎冰單純放置就會自己結成冰塊，應該是預熔現象的結果。

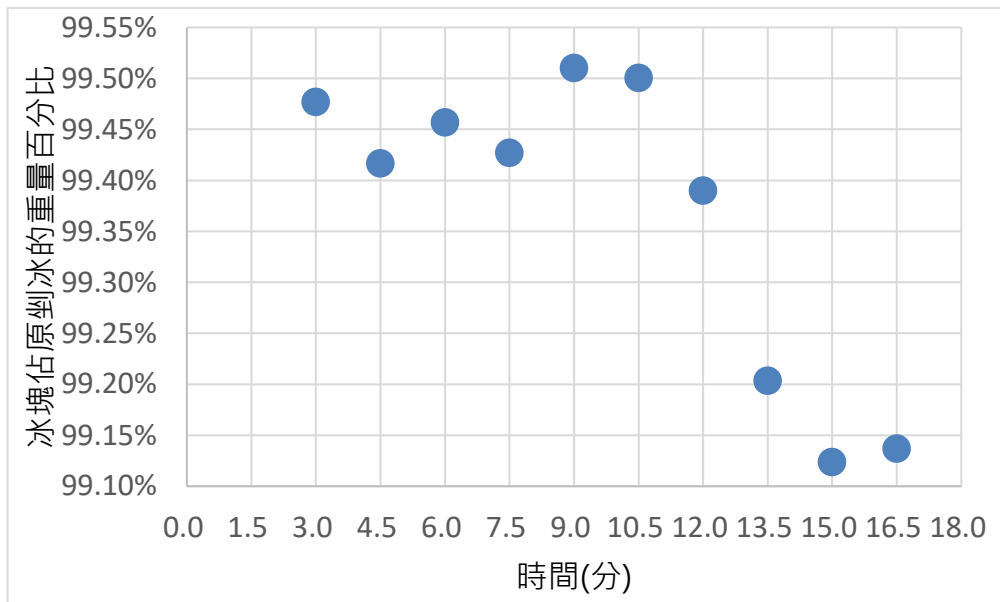
(三)實驗方法與步驟：

1. 將棉線以螺旋方式纏繞在竹籤上。(圖二)
2. 秤量乾的空塑膠杯重量並記錄。(圖三)
3. 用 RO 純水製作大冰塊，放上剉冰機，將乾的空塑膠杯放在剉冰出口位置，開啟剉冰機使剉冰落下至塑膠杯中到滿。(圖四)
4. 將塑膠杯裡的剉冰用刮勺持平舀出，直至剉冰重為 30 克，記錄重量至小數點下兩位。(圖五)
5. 在塑膠杯正中央垂直插入自製棉線棒，開始計時。(圖六)
6. 在指定時間到達時，用棉線棒將冰塊提起，放入另一個乾的空塑膠杯中，秤重並記錄冰塊的重量至小數點下兩位。(圖七)
7. 將冰塊的重量除以原來剉冰的重量，得到可用棉線棒提起的冰塊佔原剉冰重量的百分比。(圖八)



實驗(一) 探討剉冰結塊的質量與放置時間的關係

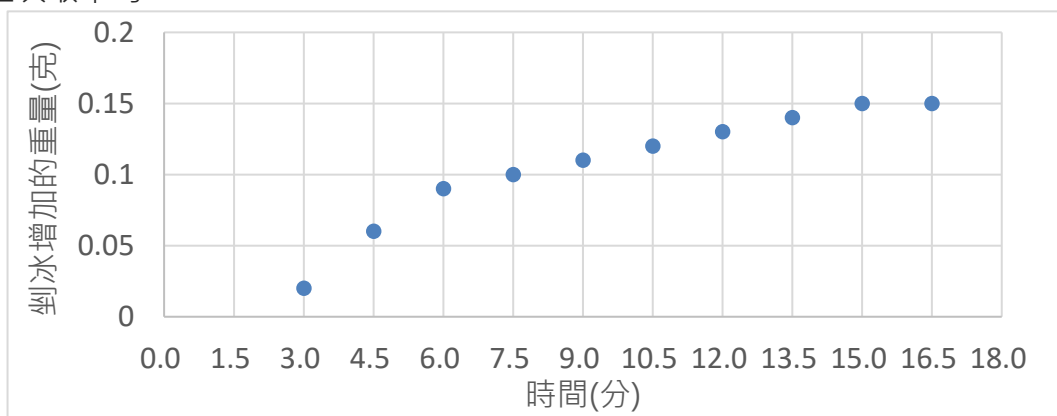
1. 每隔 1.5 分鐘紀錄一次可用棉線棒提起的冰塊佔原剉冰重量的百分比，直至再也無法提起為止。
2. 每個時間點皆測量十次取平均。
3. 記錄當時室溫為 24°C。



由實驗結果發現，剉冰在第 1.5 分跟第 18 分時，都無法結成一塊能讓棉線棒提起的冰塊，在第 1.5 分鐘的時候，剉冰的部分區域仍維持鬆散小碎冰的狀態，沒辦法整體結成一大塊。而在 3.0~12.5 分鐘時，剉冰會順利結成一塊硬實的冰塊，可以輕易用棉線棒提起而秤重，在這段時間內，結成冰塊的重量比雖然差異不大，但數值的起伏仍讓我們覺得奇怪，我們推想，應該是因為剉冰的溫度低，放置在空氣中使得空氣中的水蒸氣凝結於冰上，而改變了秤量冰塊的重量。因此我們決定新增一個實驗，測量剉冰在空氣中凝結水氣的量隨著時間的變化。

實驗(二) 測量剉冰在空氣中凝結水氣的重量隨時間的變化

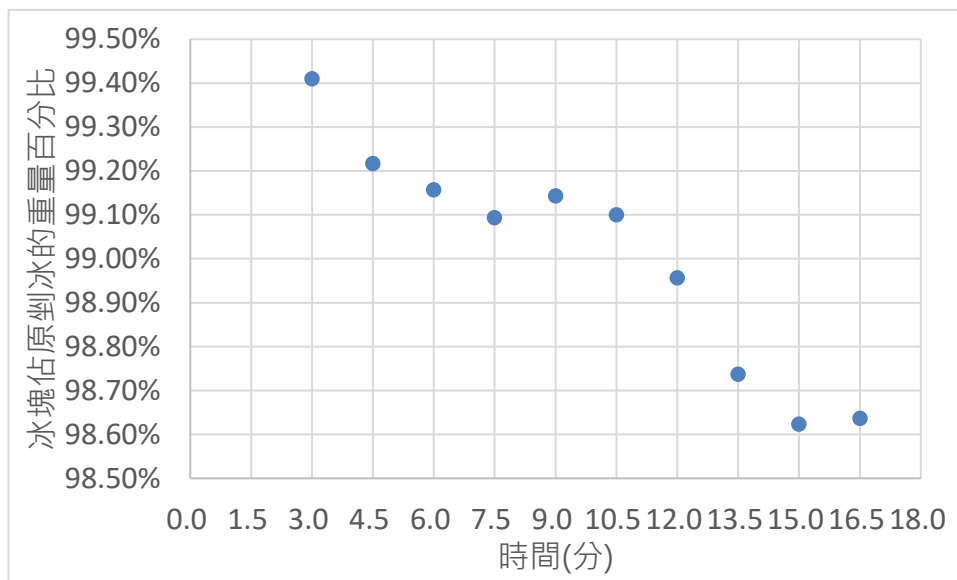
1. 取 30 克剉冰，放在天平上，從 3 分鐘開始，每隔 1.5 分鐘測量一次重量並記錄。
2. 重複五次取平均。



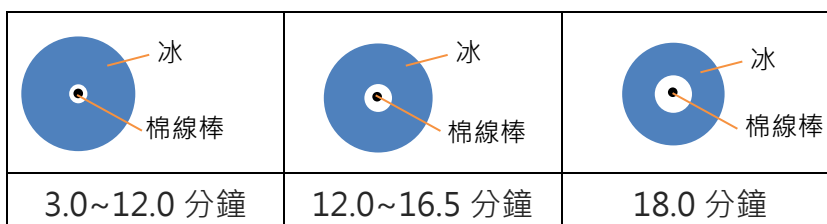
由此結果證實了我們前一實驗的推測，空氣中的水蒸氣遇冷會凝結在剉冰上，且一開始重量增加的速率較快，後來增加量逐漸減少，此結果應是剉冰一開始的溫度較低，所以水氣凝結的較多較快的原因。

實驗(三) 探討剉冰結塊的質量與放置時間的關係 (新)

將實驗一所得的各時間秤得冰塊的重量，減去各時間由空氣中的水氣而增加的重，重新求得結果。

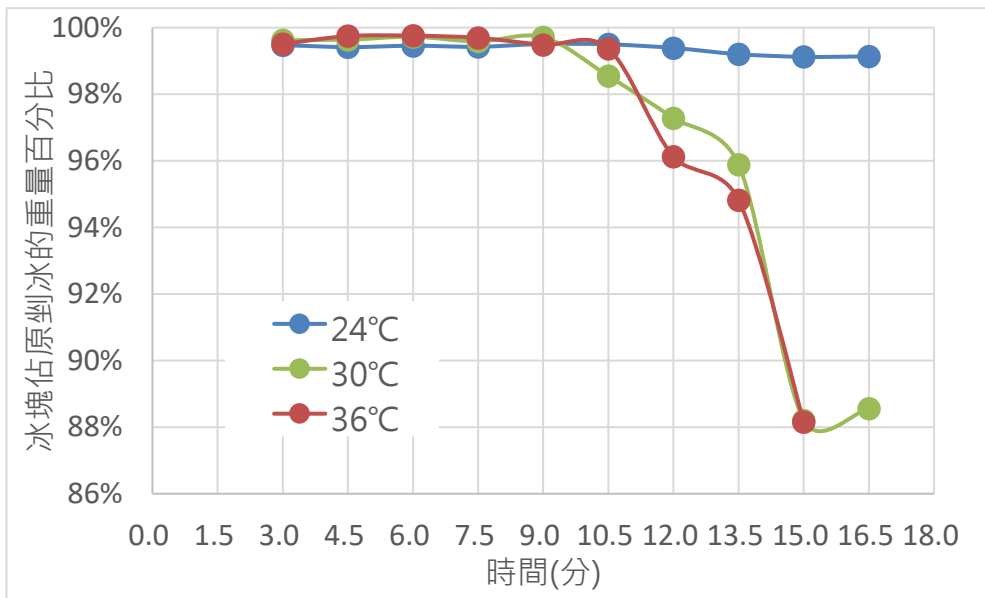


扣掉空氣重凝結的水氣增加的重量後，發現從 3 分鐘開始能提起的冰塊重量百分比逐步下降，至 7.5~9.0 分鐘有維持，大概從 10.5~16.5 分鐘起，可以肉眼明顯發現冰的融化量逐漸增加，因此可提起冰塊的重量也明顯變少，至 18.0 分鐘時，雖然杯內仍有許多冰未融化，但融化的水量多，棉線棒能撐起冰塊的部分變薄，因此無法支撐冰塊的重量而破碎，如下示意圖：



實驗(四) 探討溫度對剉冰結塊的質量有何影響

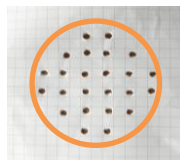
1. 將烘箱設定為 30°C 並預熱十分鐘。
2. 將剉冰放進烘箱，每隔 1.5 分鐘拿出剉冰並紀錄可用棉線棒提起的冰塊佔原剉冰重量的百分比，直至再也無法提起為止。
3. 將烘箱設定改為 36°C 並預熱十分鐘，重複以上步驟。
4. 每個時間點皆測量十次取平均。



由實驗結果可以發現，在 24°C、30°C 及 36°C 的情況下，剉冰都需要 3 分鐘以上的時間才能結成一塊可被提起的冰塊。而在 3.0~9.0 分鐘之間，不同的溫度下所結成的冰塊比例沒有明顯差異，但到了 10.5 分鐘以後，溫度越高、冰熔化的速度愈快、熔化的量越明顯，因此可提起的冰塊愈小塊。在第 16.5 分鐘時，36°C 的冰塊已無法被提起。

實驗(五) 探討加入糖水的濃度對剉冰結塊的質量有何影響

1. 配置 35%、50% 及 65% 的砂糖水溶液，分別秤取 12 克裝入點滴瓶中。
2. 將方格紙分散的戳出 24 個小洞，覆蓋在裝好 30 克剉冰的塑膠杯上。(圖八)
3. 將點滴瓶口逐一穿過小洞使糖水均勻的滴在剉冰上。(圖九)



圖八



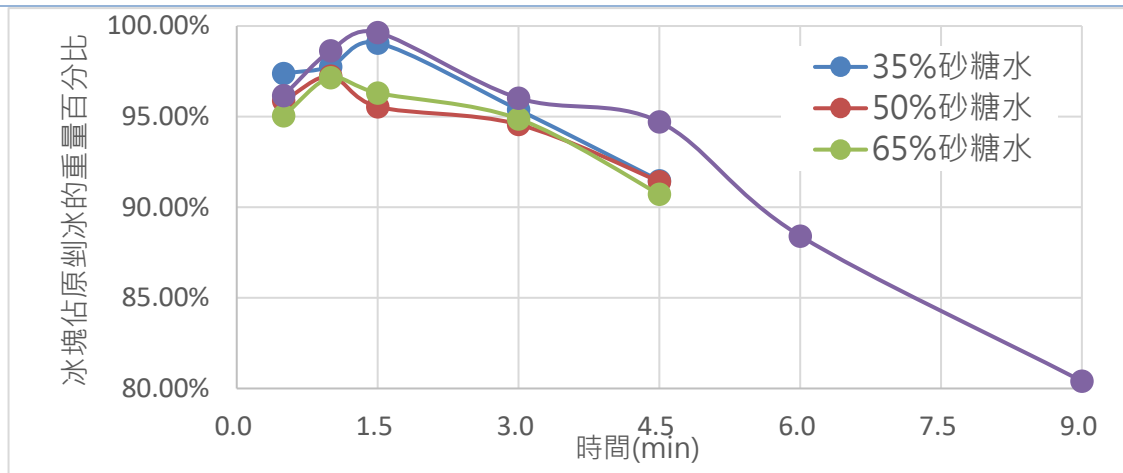
圖九

4. 另用 12 克純水作為對照組。

表：加入不同糖水濃度可提起的冰塊重(克)(X 表示無法提起)

時間	0分	0.5分	1.0分	1.5分	3.0分	4.5分	6.0分	9.0分
純水	X	40.39	41.44	41.82	40.34	39.78	37.11	33.77
35%	X	40.90	41.03	41.58	40.07	38.42	X	X
50%	X	40.28	40.87	40.12	39.72	38.38	X	X
65%	X	39.92	40.78	40.42	39.82	38.12	X	X

由紀錄的冰塊重量可以發現，淋入的砂糖水溶液會附著在冰上，使得提起的冰塊重量大於原本剉冰的重量，因此我們處理數據時，將提起的冰塊重除以剉冰和砂糖水溶液的總重對時間作圖：



我們在此實驗中陸續嘗試了不同的方法想讓糖水能均勻撒上剉冰，最一開始是讓欲加入的糖水沿著棉線棒流至剉冰上，但很容易產生糖水分布不均勻的情況，糖水剛流下時，由於溫度較剉冰高，會使棉線棒附近的剉冰大量融化，於是我們又想到利用澆花器的前端有許多小洞，放在塑膠杯上使糖水滴下，但由於糖水量少、壓力不足，會積著無法滴落，改成使用噴霧瓶噴出糖水，又因糖水黏稠難以噴出，因此最終使用點滴瓶分散滴落，可以達成均勻分散添加糖水的成效。

由實驗結果我們發現，加入糖水對於冰塊熔化的速度及結成冰塊的重量有所影響。當糖水濃度較低時，剉冰結成冰塊的情況比較明顯，而當糖水濃度提高到 50% 及 65% 的時候能夠結成冰塊的剉冰比例會變小而且熔化的速度較快，在 6 分鐘後對照組仍可提起冰塊時，這些加了糖水的剉冰都已無法結成硬實可提起的冰塊。我們猜想，冰融化速度應該跟糖水的滲透壓有關，加入濃度較高的糖水，滲透壓較大，會使得冰快速融化成水以稀釋糖水濃度，減少滲透壓差。

五、結論與生活應用

(一) 30 克的剉冰在 3.0 分鐘後會開始有結成冰塊的現象，結成的冰塊重量隨著時間經過會逐漸減少，至 16.5 分鐘後會無法提起。

(二) 在 9.0 分鐘內，不同的周遭環境溫度對於剉冰結成冰塊的比例無顯著差異，此後高溫會使冰塊的融化速度較快、能結成的冰塊重量較小。

(三) 添加糖水後的剉冰，會加速冰塊融化，濃度較高的糖水使冰塊融化較快、結成的冰較小。

(四) 我們發現剉冰放久了的確會結成一塊比較大的冰塊，而少了小碎冰的感覺，所以未來出去外帶剉冰時，可以要求老闆把冰和糖水分開放，這樣到家的時候就不會吃到結成一大塊的冰或是直接變成水喔！

六、參考資料

1. 復冰現象 取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BE%A9%E5%86%B0%E7%8F%BE%E8%B1%A1>
2. Ice Crystal Aggregation 取自：
<http://data.cas.manchester.ac.uk/micc/ice%20crystal%20aggregation.htm#ice:32crystal:32aggregation:32fig:322>

